

Studi Pola Sebaran Suhu Permukaan Laut Menggunakan Citra Landsat 8 TIRS di Perairan PLTU Banten 3 Lontar, Tangerang

Gita Praspa Ramdhani*, Kunarso, Azis Rifai, Alfi Satriadi dan Dwi Haryo Ismunarti

Departemen Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Telp/fax (024) 7474698 Semarang 50275
Email: *gitapraspa@gmail.com

Abstrak

PLTU Banten 3 Lontar merupakan salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan utama tenaga listrik di Jakarta dan sekitarnya. Adanya aktivitas PLTU di wilayah pesisir berpengaruh terhadap dinamika parameter hidro-oseanografi. Limbah panas yang dihasilkan PLTU memberikan dampak pada lingkungan pesisir salah satunya adalah meningkatkan suhu permukaan air laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola sebaran spasial suhu permukaan laut secara horizontal serta luas wilayah terdampak limbah air panas di Perairan PLTU Banten 3 Lontar, Tangerang. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data yang meliputi Citra Landsat 8 TIRS, suhu permukaan laut lapangan dan data pendukung yakni data angin dari NOAA, data batimetri publikasi BATNAS dan data pasang surut serta peta RBI publikasi BIG. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan metode pengolahan data citra dilakukan menggunakan Google Earth Engine (GEE), sedangkan untuk metode pengambilan sampel menggunakan purposive sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah terdampak limbah panas memiliki rentang nilai suhu permukaan laut yaitu 29.01 °C - 33.00 °C. Penyebaran limbah air panas pada tahun 2019 memiliki total rata-rata luasan mencapai 367.58 ha dan mencapai jarak 1.76 km dari outfall sedangkan pada tahun 2020 memiliki total rata-rata luasan penyebaran 81.9 ha dan mencapai jarak 1.38 km dari outfall PLTU Banten 3, Lontar. Pola sebaran suhu permukaan laut dipengaruhi oleh arus pasang surut yang bergerak dengan kecepatan 0.014 - 0.519 m/det dengan dominasi arah sebaran ke Timur Laut.

Kata kunci: Landsat 8 TIRS, Suhu Permukaan Laut, GEE, Limbah Air Panas.

Abstract

PLTU Banten 3 Lontar is one of the power plant to supply the main needs of electricity in Jakarta and its surroundings. The presence of industrial activities in coastal areas could affect the dynamics of hydro-oceanographic parameters. Heat water disposal from PLTU Banten power plant has increased sea surface temperatures and could cause a negative impact on the coastal environment. This study aims to determine the spatial pattern of sea surface temperature and heat-affected areas by PLTU Banten 3 Lontar power plant. This study used data includes Landsat 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) data, in-situ temperature measurements data, bathymetry data and map of BATNAS, tidal data, and maps of the RBI from BIG. The research method used descriptive method and image data processing method with Google Earth Engine (GEE), while the sampling method used purposive sampling method. The results indicate that temperature of heat-affected areas was 29.01 °C - 33.00 °C. Heat water dispersion in 2019 has an average total area of 367.58 ha and could reach distance 1.76 km from the outfall, while in 2020 it has a total average distribution of 81.9 ha and 1.38 km away from the outfall of PLTU Banten 3, Lontar. The result shows that the spatial distribution is dominated by tidal currents with a current velocity of 0.014 - 0.519 m/s and flow to Northeastward.

Keywords : Landsat 8 TIRS Image, Sea Surface Temperature, GEE, Hot water.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan dengan populasi lebih dari 220 juta orang yang merupakan sumber daya pembangunan yang sangat potensial. Peningkatan energi listrik dan perbaikan kendala distribusi tenaga listrik sangat penting dalam mendukung kehidupan sumber daya manusia. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia merupakan salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan utama tenaga listrik masyarakat Indonesia. Berdasarkan Perpres No. 71 tahun 2006 PLTU Banten 3 Lontar merupakan salah satu proyek listrik percepatan 10.000 MW di Pulau Jawa yang beroperasi di pesisir pantai berbahan bakar batubara.

Pengoperasian PLTU dibutuhkan air laut sebagai pendingin kondensor yang kemudian dialirkan ke laut melalui kanal-kanal *discharge* sehingga terjadi kegiatan pembuangan air pendingin (*cooling water*). Hal tersebut menyebabkan adanya input panas karena air pendingin memiliki suhu

yang lebih hangat dibandingkan dengan suhu air sebelum dipakai untuk pendingin (Fudlailah dan Zikra, 2013). Air pendingin atau yang dikenal sebagai air bahang atau air buangan yang dibuang ke laut tanpa melalui proses pendinginan kembali dapat menyebabkan pengaruh atau dampak terhadap perairan, baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap organisme yang hidup di dalamnya (Surinati dan Marfatah, 2019).

Kegiatan pembuangan air pendingin berdampak pada peningkatan suhu air laut. Suhu air laut salah satu parameter oseanografi yang memegang peranan penting di dalam ekosistem perairan (Akhbar *et al.*, 2018). Menurut Nontji (2007) suhu permukaan laut di Indonesia berkisar antara 28°C-31°C namun untuk di daerah sekitar pembuangan limbah industri atau pembangkit listrik dapat terjadi kenaikan suhu permukaan mencapai 37°C. Cairns (1972) dalam (Ismayati *et al.*, 2013) mengemukakan bahwa, kenaikan suhu perairan mempengaruhi berbagai sifat kimia dan fisika yang berhubungan dengan kualitas air (oksigen terlarut, CO₂, pH, densitas dan viskositas) serta kehidupan organisme perairan. Perubahan suhu perairan berpengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam air, semakin tinggi suhu maka kelarutan oksigen dalam air semakin rendah sehingga kandungan oksigen terlarut akan kecil (Rosen *et al.*, 2015). Dengan demikian suhu permukaan laut dapat digunakan sebagai indikasi penentuan kualitas suatu perairan (Tampubolon *et al.*, 2017).

Berdasarkan hal tersebut perlu adanya studi mengenai dampak pembuangan limbah panas PLTU tersebut terhadap suhu permukaan laut sehingga dapat dijadikan informasi dalam pemantauan kondisi ekosistem di wilayah perairan tersebut. Studi ini dilakukan dengan analisa spasial sebaran suhu permukaan laut akibat limbah panas PLTU Banten 3 Lontar dengan menggunakan citra satelit Landsat 8 dan diharapkan dapat menggambarkan luas wilayah yang terkena dampak limbah panas tersebut serta dapat mengetahui perubahan suhu permukaan laut.

MATERI DAN METODE PENELITIAN

Materi Penelitian

Materi pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer berupa data suhu hasil pengukuran lapangan pada 31 Oktober 2020. Data suhu tersebut akan digunakan untuk verifikasi data hasil analisa citra satelit. Sedangkan data sekunder berupa data Citra Termal Satelit Landsat 8 tahun 2019- 2020 resolusi 30 m yang diolah dan dianalisa untuk menghasilkan sebaran suhu permukaan laut, selanjutnya data arus pasang surut pemodelan MIKE21. Selain itu terdapat data pengamatan pasang surut dari Tides BIG, dan data kedalaman perairan.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif yang merupakan metode penelitian untuk membuat gambaran mengenai situasi atau kondisi secara lokal yang diteliti atau dikaji pada waktu terbatas dan tempat tertentu (Ismayati *et al.*, 2013). Metode deskriptif pada penelitian ini untuk mendapatkan gambaran tentang kejadian sebaran suhu permukaan laut yang dipengaruhi oleh limbah air panas PLTU Banten 3 Lontar. Data pada penelitian ini merupakan data yang telah dikumpulkan, diproses, dan dianalisis berdasarkan masalah serta tujuan penelitian yang hendak dicapai sesuai dengan teori yang telah dipelajari.

Metode Pengukuran Suhu Permukaan Laut Lapangan

Metode yang digunakan dalam pengambilan data lapangan yakni menggunakan metode *purposive sampling* sebanyak 13 titik yang dianggap telah mewakili daerah penelitian. Penentuan titik sampling didasarkan pada letak *Intake* dan *Outfall* serta arah arus perairan sekitarnya. Pertimbangan selanjutnya yaitu pada pendugaan air limbah dari PLTU tersebut menyebar secara merata sehingga diharapkan dapat ditentukan arah sebaran sebenarnya dari hasil pengukuran pada stasiun sampling tersebut. Pengambilan data suhu permukaan laut dilakukan di perairan PLTU Banten 3 Lontar pada pukul 10.00-11.00 WIB dengan kondisi perairan surut menuju pasang.

Metode Pengolahan Data

Citra Satelit Landsat- 8

Data Citra Satelit Landsat 8 tahun 2019-2020 diperoleh dari USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) dengan lokasi path 122 dan row 64 pada wilayah PLTU Banten 3 Lontar kemudian diolah dengan platform *Google Earth Engine*. Data citra satelit Landsat 8 yang digunakan dengan mengoptimalkan

saluran TIR 10 dengan panjang gelombang 10.60 - 11.19 mm. Pengolahan data yang dilakukan pada 2019-2020 menghasilkan 14 data citra dengan nilai tutupan awan rendah yang kemudian akan dilakukan visualisasi dengan ArcGIS. Hasil yang ditampilkan dalam penelitian ini didasarkan pada luas sebaran suhu permukaan laut terbesar, nilai suhu tertinggi dan data lapangan yang digunakan sebagai verifikasi data (Gambar 2).

Pengolahan data yang dilakukan menggunakan *platform Google Earth Engine* melalui tahapan seperti pada gambar 1 dan dijelaskan lebih rinci pada bagian berikut. Dalam penelitian ini naskah pemrograman yang digunakan dibagi menjadi dua tahapan yaitu :

1. *Filter Bebas Awan*

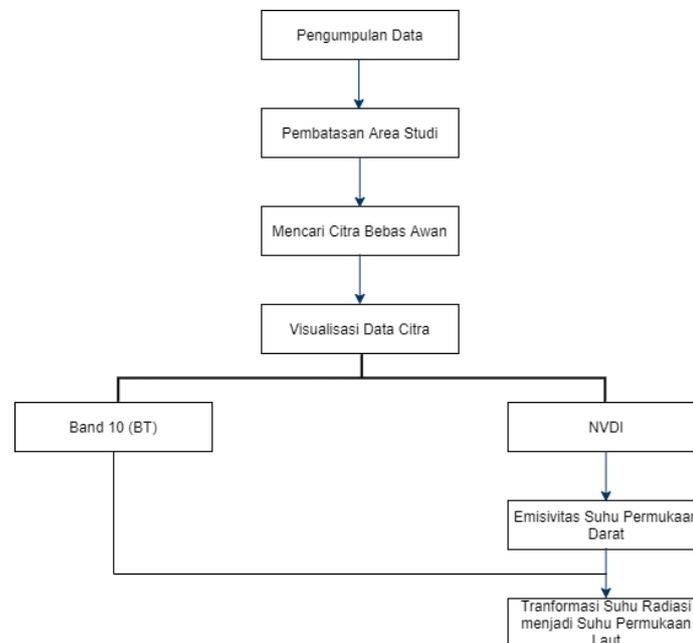
<https://code.earthengine.google.com/dc7dd87ba66d78bd2dfc74d02b1ba644?noload=true>

Untuk memastikan Citra Landsat 8 TIRS memiliki tutupan awan yang rendah sehingga dapat digunakan dalam analisa suhu.

2. *Export Data Citra*

<https://code.earthengine.google.com/4add4caa308fcbbb904496bf166eb53d?noload=true>

Untuk menghitung nilai *Digital Numbers (DN)* dari band 10 Citra Landsat 8 TIRS. Penghitungan *brightness temperatures (T_b)* dari *Digital Numbers* menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Penggunaan NDVI umumnya digunakan untuk mengetahui indeks kerapatan suatu vegetasi (Mukhlisin and Soemarno, 2020). Berdasarkan penelitian (Cherif *et al.*, 2019), Permukaan darat dan laut dibedakan karena reflektansi air hampir sama dengan nol, sedangkan reflektansi tutupan vegetasi lebih besar dibandingkan dengan reflektansi air.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data menggunakan *Google Earth Engine*

3. *Transformasi Suhu Radiasi Menjadi Suhu Permukaan Laut*

Nilai *brightness temperatures* yang diperoleh diubah menjadi nilai suhu permukaan laut menggunakan persamaan dibawah ini. Metode ini digunakan pada saat keterbatasan sampel data insitu pada saat akuisisi data satelit Landsat, atau tidak ada data satelit resolusi spasial yang lebih tinggi dari Landsat dan sudah terkalibrasi. Berdasarkan nilai suhu radiasi hasil kalkulasi, nilai suhu kinetik objek dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$SST = AT^3 - BT^2 + CT - 1161,2$$

Dimana

SST : *Sea Surface Temperature* / Suhu Permukaan Laut

A : 0,0684

B : 5,3082

C : 137,59

T : Suhu Radiasi (Celcius)

(Trisakti *et al.*, 2004)

Pemodelan MIKE 21 Arus Pasang Surut

Pemodelan arus permukaan pasang surut menggunakan data kedalaman yang dirilis oleh BIG yang diakses melalui (<https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/batnas>). Sebelum dilakukan pemodelan dengan software MIKE21 dibuat batasan daerah penelitian dengan memasukkan data garis pantai dan data kedalaman melalui software ArcGIS. Data arus pasang surut permukaan yang dihasilkan berupa koordinat dan data kecepatan serta arah arus dengan waktu yang telah ditentukan. Data tersebut selanjutnya ditampilkan dalam bentuk peta 2D.

Pasang Surut

Masukan data yang digunakan berupa pengukuran pasang surut dari Tides BIG selama satu bulan. Data pasang surut yang diperoleh berupa data elevasi muka air laut dengan interval selama 60 menit. Peninjauan komponen pasang surut di lokasi penelitian didasarkan oleh pengolahan data menggunakan *t_tide toolbox* dalam perangkat lunak Matlab. Komponen yang diperoleh dapat menjelaskan tipe pasang surut pada lokasi penelitian melalui perhitungan bilangan Formzahl.

Tahap Verifikasi

Verifikasi data suhu Citra Satelit Landsat-8 dengan data suhu hasil pengukuran lapangan dilakukan dengan membandingkan nilai suhu pada stasiun-stasiun pengamatan. Metode yang digunakan dalam tahap verifikasi dan validasi ini adalah MRE (*Mean Relative Error*) atau koreksi kesalahan relatif. Menurut (Neill dan Hashemi, 2018) menyatakan bahwa *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai kesalahan dapat dihitung menggunakan rumus :

1. Kesalahan Relatif [*Relative Error* (RE)]

$$RE = \left| \frac{P-P^*}{P} \right|$$

2. Kesalahan Relatif Rata-Rata [*Mean Relative Error* (MRE)]

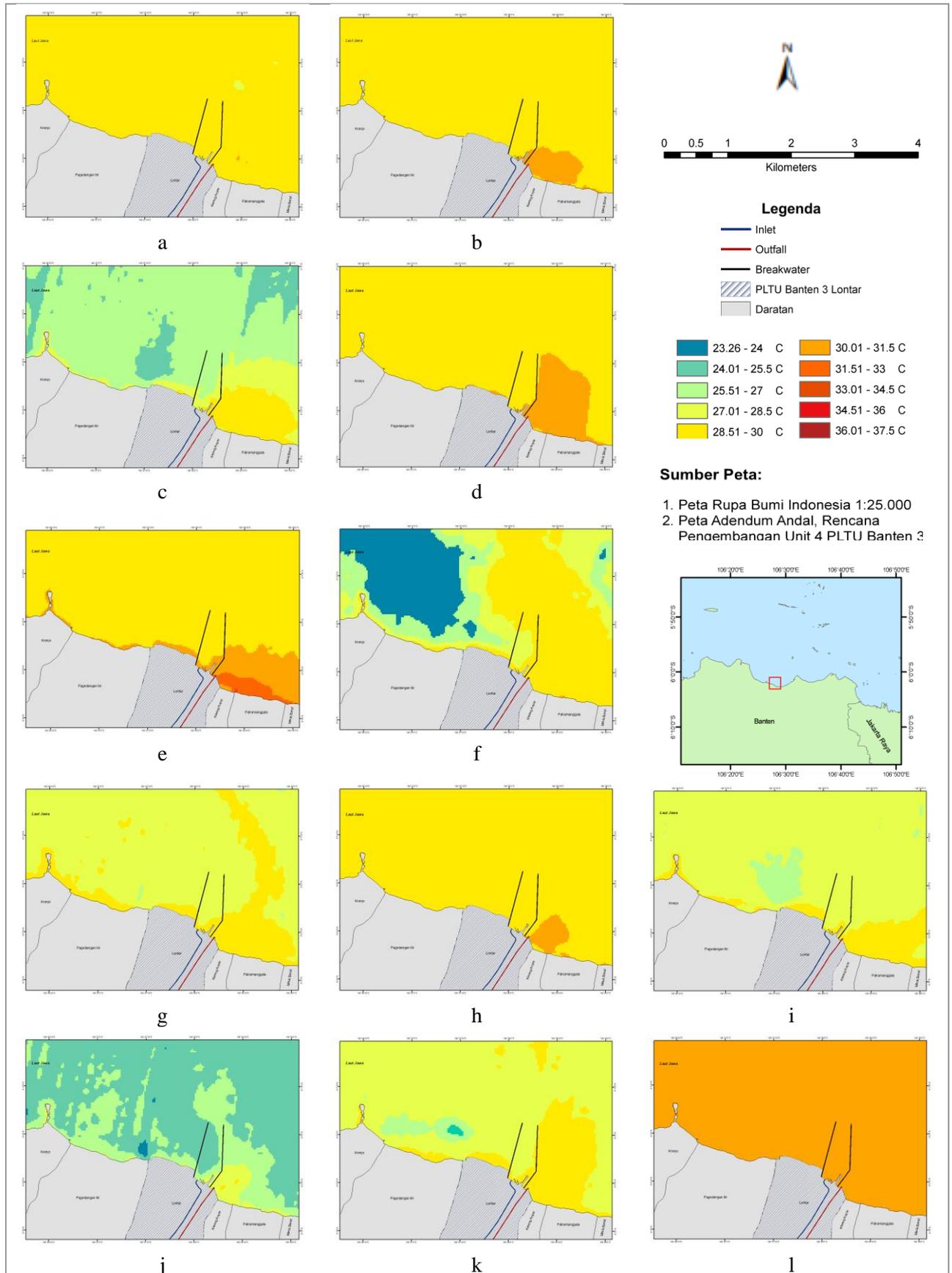
$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P-P^*}{P} \right| \times 100\%$$

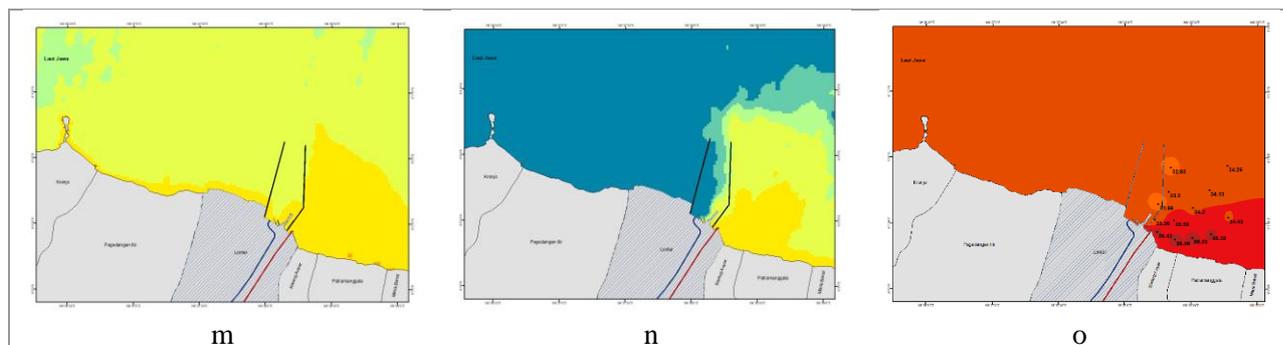
HASIL

Suhu Permukaan Laut

Berdasarkan pengolahan Citra Landsat 8 TIRS maka diperoleh hasil suhu permukaan laut dari masing-masing perekaman yaitu pada tahun 2019-2020 (Gambar 2). Dampak pembuangan limbah panas dari pembangkit listrik terhadap suhu permukaan laut memiliki pola persebaran yang didominasi menuju ke arah Timur Laut dengan intensitas kenaikan suhu permukaan laut menurun dari *outfall* dan menjauhi garis pantai. Daerah yang diperkirakan terdampak dari limbah air panas memiliki rentang nilai suhu permukaan laut yaitu 29.01 °C -33.00 °C. Gambar 2e menunjukkan bawah suhu tertinggi dengan rentang nilai 32.01 °C -33.00 °C tersebar seluas 13.98 ha dan berada dalam jarak 0.94 dari *outfall* sedangkan daerah dengan rentang nilai 31.01 °C -32.00 °C memiliki luas 4.31 ha dan berada sejauh 0.38 km dari *outfall*. Hasil pengolahan data (Gambar 2.b,d,e) menunjukkan daerah dengan nilai suhu 30.01-31.00 memiliki luasan rata-rata sebesar 62.54 ha dan berada dalam jarak 1.28 km dari *outfall*. Daerah dengan rentang suhu 29.01-30.00 mencakup area yang relatif terbesar dengan rata-rata luasan mencapai 328.877 ha dan sebagian besar berada dalam jarak 1.85 km dari *outfall* (Gambar 2.a, c, f, g, i, j, k, l, m). Suhu permukaan laut hasil pengukuran di lapangan memiliki rentang nilai yaitu 31.01 °C -37.00 °C (Gambar 2o). Nilai yang ditunjukkan merupakan hasil interpolasi berdasarkan nilai tertinggi

dan terendah dari data yang telah didapatkan. Area yang memiliki nilai suhu tertinggi sebesar 36.01 °C - 37.00 °C yang dimana terkonsentrasi dalam jarak 0.92 km dari titik *outfall*.





Gambar 2. Peta Sebaran SPL Pengolahan Citra Landsat 8 TIRS Pukul 03.00 WIB; a) 22 Mei 2019, b) 30 Juni 2019, c) 9 Juli 2019, d) 10 Agustus 2019, e) 18 September 2019, f) 04 Oktober 2019, g) 17 Januari 2020, h) 22 April 2020, i) 24 Mei 2020, j) 16 Juni 2020, k) 11 Juli 2020, l) 28 Agustus 2020, m) 13 September 2020, n) 15 Oktober 2020, o) Peta Sebaran SPL Lapangan Tanggal 31 Oktober 2020 Pukul 10.00-11.00 WIB.

Tabel 1. Perbandingan Distribusi Suhu Permukaan Laut Tahun 2019-2020

Gambar	Tanggal	Luas (ha)	Jarak (km)	Arah Dominan	Nilai SPL (°C)
2a	22 Mei 2019	2162.5	3.13	Timur Laut	29.01-30.00
2b	30 Juni 2019	50.4	1.06	Timur	30.01-31.00
2c	9 Juli 2019	130.9	1.53	Tenggara	29.01-30.00
2d	10 Agustus 2019	50.4	1.51	Timur Laut	30.01-31.00
		113.39	1.62		30.01-31.00
2e	18 September 2019	31.66	1.68	Tenggara	31.01-32.00
		13.98	0.94		32.01-33.00
2f	04 Oktober 2019	382.32	2.56	Barat Laut	29.01-30.00
2g	12 Januari 2020	83.60	1.62	Tenggara	29.01-30.00
2h	22 April 2020	36	0.88	Timur Laut	30.01-31.00
2i	24 Mei 2020	60.2	1.66	Tenggara	29.01-30.00
2j	16 Juni 2020	20.2	0.62	Timur Laut	28.01-29.00
2k	11 Juli 2020	88.3	1.11	Timur Laut	29.01-30.00
2l	28 Agustus 2020	121.8	1.62	Tenggara	29.01-30.00
2m	13 September 2020	184.30	1.62	Timur Laut	29.01-30.00
2n	15 Oktober 2020	60.80	1.62	Timur Laut	29.01-30.00
2o	31 Oktober 2020	36.66	0.92	Timur Laut	36.01-32.00

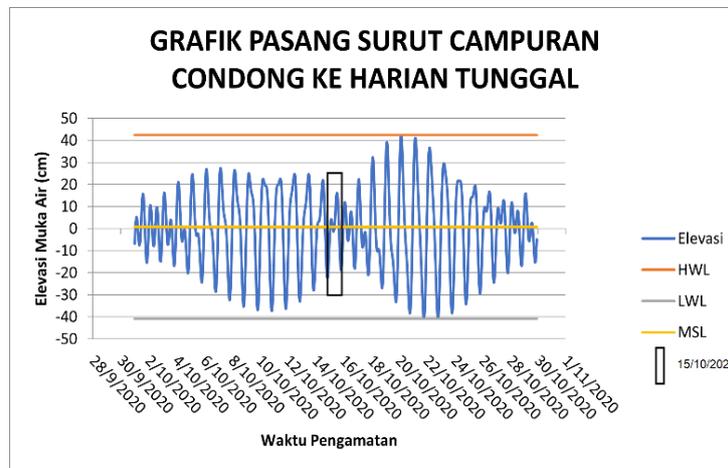
Berdasarkan data pada Tabel 1 menunjukkan perbandingan distribusi suhu permukaan laut tahun 2019-2020. Data tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan data citra perekaman 04 Oktober 2019 memiliki area terdampak terluas yaitu sebesar 382.37 ha dan berjarak sejauh 2.56 km dari *outfall* PLTU. Dampak limbah panas terhadap suhu permukaan laut di perairan meningkatkan nilai suhu mencapai 33.03 °C yang ditunjukkan pada citra perekaman 18 September 2019 (Gambr 2d). Total luas rata-rata area yang terdampak limbah panas di perairan sebesar 213.67 ha dan terkonsentrasi dalam jarak sekitar 1.53 km dari *outfall* PLTU Banten 3 Lontar. 1.06 km.

Berdasarkan pengolahan data pasang surut (Gambar 3), dapat diketahui bilangan Formzahl sebesar 2.06. Hal ini menunjukkan bahwa tipe pasang surut perairan PLTU Banten 3 Lontar merupakan tipe pasang surut campuran condong ke harian tunggal. Nilai MSL sebesar 83 cm, HHWL sebesar 42.4 cm di atas MSL, dan LLWL sebesar -40.8 cm di bawah MSL.

Tabel 2. Nilai RMSE Suhu Permukaan Laut 31 Oktober 2020

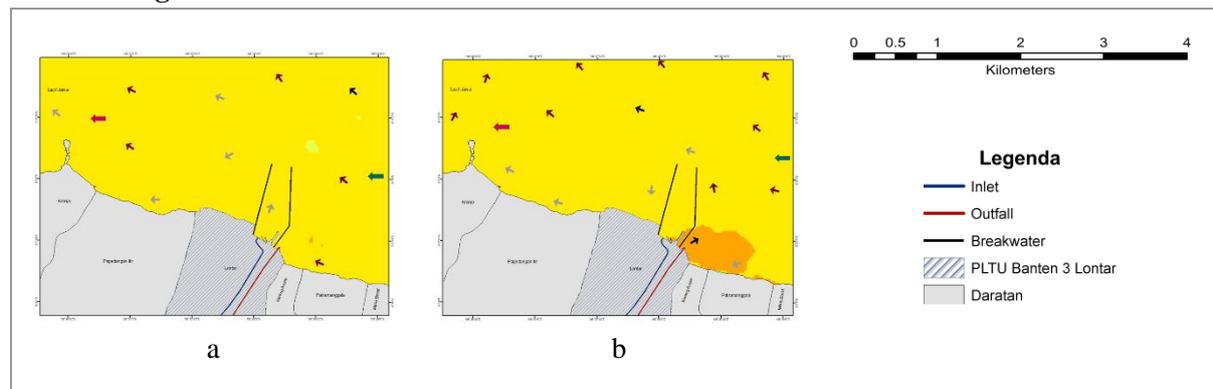
Titik Sample	X	Y	SPL Lapangan	Landsat 8	RE
1	662220.9388	-668152.0454	36.43	29.43	0.192
2	662240.892	-662923.5922	33.32	28.12	0.156
3	663019.6681	-668254.8296	36.32	29.43	0.191
4	663264.9662	-668231.6005	36.33	29.43	0.190
5	663005.2538	-662983.9155	35.53	29.04	0.183
6	662289.5216	-662256.8859	31.62	22.65	0.122
2	663524.8331	-668183.0992	36.23	29.43	0.188
8	663269.5228	-662812.4153	34.20	28.22	0.160
9	662929.9123	-662582.0549	33.20	28.32	0.142
10	663260.3806	-662950.6432	34.43	28.94	0.160
11	663499.8323	-662561.0355	34.13	28.6	0.162
12	662961.5435	-662243.292	32.63	22.83	0.142
13	663249.5212	-662216.1615	34.22	28.12	0.128

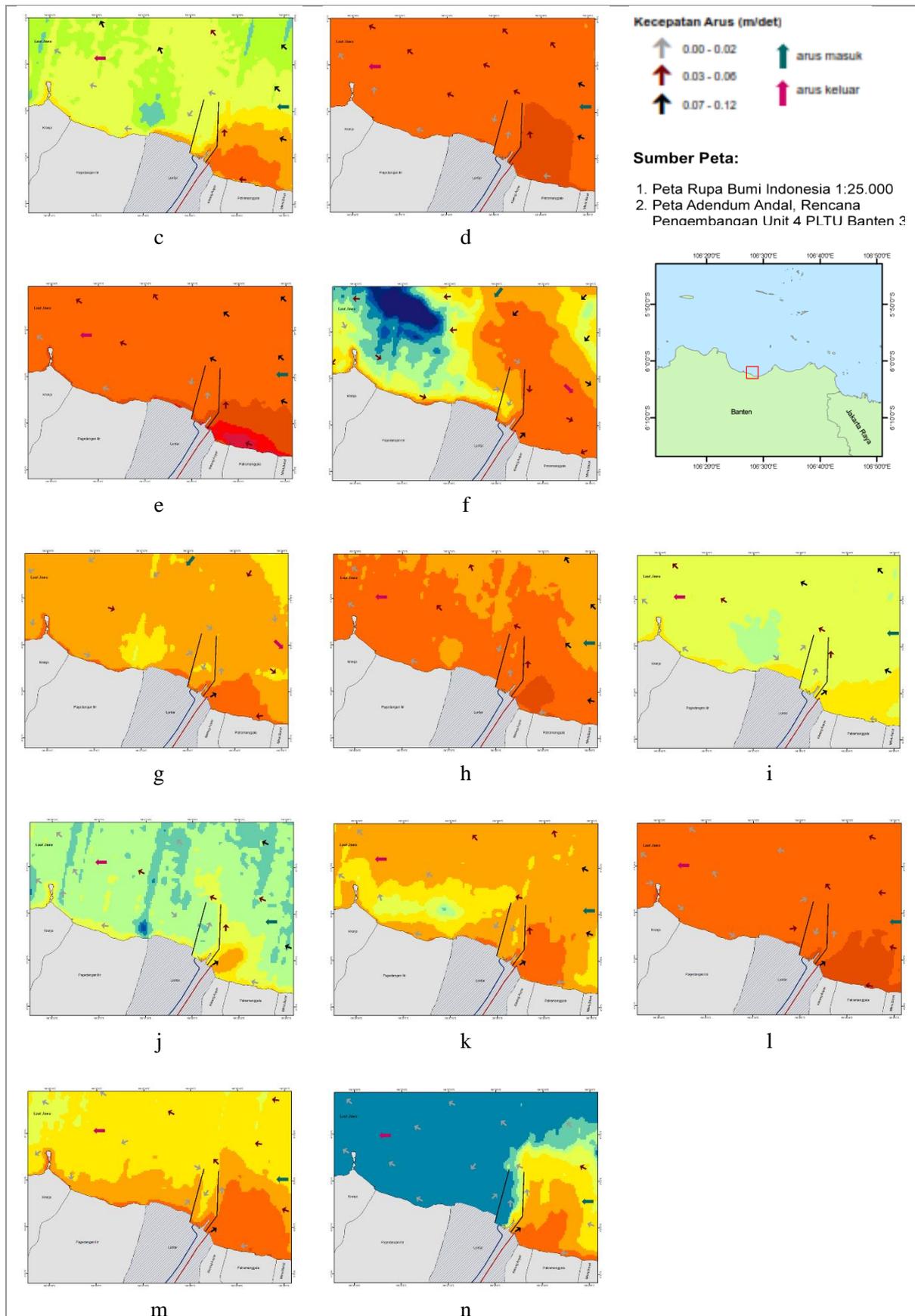
Pasang Surut



Gambar 3. Grafik Pasang Surut Bulan Oktober 2020

Arus Pasang Surut





Gambar 4. Peta Arus Pasang Surut MIKE21 Pukul 03.00 WIB; a) 18 September 2019, b) 04 Oktober 2019, c) 22 April 2020, d) 13 September 2020, e) 15 Oktober 2020.

Tabel 3. Perbandingan Pola Arus Pasang Surut Tahun 2019- 2020

Gambar	Tanggal	Kondisi Pasang Surut	Kec. Rata-rata (m/ detik)	Arah Dominan
4a	22 Mei 2019	Pasang	0.06	Tenggara ke Barat Laut
4b	30 Juni 2019	Pasang	0.04	Tenggara ke Barat Laut
4c	9 Juli 2019	Pasang	0.02	Tenggara ke Barat Laut
4d	10 Agustus 2019	Pasang	0.05	Tenggara ke Barat Laut
4e	18 September 2019	Pasang	0.03	Tenggara ke Barat Laut
4f	04 Oktober 2019	Pasang	0.01	Timur Laut ke Tenggara
4g	17 Januari 2020	Pasang	0.01	Timur Laut ke Tenggara
4h	22 April 2020	Pasang	0.04	Tenggara ke Barat Laut
4i	24 Mei 2020	Pasang	0.06	Timur ke Barat Laut
4j	16 Juni 2020	Pasang	0.03	Timur ke Barat Laut
4k	11 Juli 2020	Pasang	0.04	Tenggara ke Barat Laut
4l	28 Agustus 2020	Pasang	0.02	Tenggara ke Barat Laut
4m	13 September 2020	Pasang	0.02	Tenggara ke Barat Laut
4n	15 Oktober 2020	Pasang	0.02	Tenggara ke Barat Laut

Hasil pemodelan hidrodinamika menggunakan MIKE21 pada tahun 2014-2020 menggambarkan keadaan pola arus di perairan sekitar PLTU 3 Banten Lontar (Gambar 4). Pola pergerakan arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dengan asumsi tidak ada pengaruh angin dan juga gesekan dasar. Waktu yang digunakan dalam pemodelan disesuaikan dengan waktu pengambilan data citra Landsat 8 yaitu pada 03.00 WIB. Kondisi perairan pada waktu tersebut menunjukkan dalam kondisi saat pasang. Arus pasang surut bergerak dengan rentang nilai kecepatan sebesar 0.01-0.51 m/det. Hasil pemodelan pada (Gambar 4a) memiliki kecepatan arus tercepat mencapai 0.51 m/det sedangkan kecepatan arus minimum ditunjukkan pada (Gambar 4f) mencapai 0.01 m/det. Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan perbandingan pola arus pasang surut tahun 2014- 2020. Distribusi pergerakan arus pasang surut didominasi oleh arah arus yang bergerak dari Tenggara menuju Barat Laut dengan kecepatan arus rata-rata 0.03 m/det. Pergerakan arah arus akan mengalami pembelokkan yang disebabkan oleh adanya bangunan pantai atau *jetty* sehingga arus akan bergerak menuju ke dalam area pelabuhan.

PEMBAHASAN

Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan PLTU Banten 3 Lontar, Tangerang

Pola persebaran suhu permukaan laut yang terdampak oleh limbah panas PLTU 3 Banten Lontar, Tangerang dapat diketahui melalui hasil pengolahan data Citra Landsat 8 TIRS hasil perekaman tahun 2019-2020 (Gambar 2). Hasil pengolahan data menunjukkan perbedaan warna *pixel* pada tiap data citra yang kemudian diklasifikasikan menjadi 10 kategori nilai suhu permukaan laut. Nilai tersebut ditampilkan dengan warna yang berbeda-beda dengan interval nilai suhu sebesar 1°C. Gambar 2 menunjukkan bahwa perairan memiliki suhu permukaan laut rata-rata berkisar antara 28.01 °C hingga 29.00 °C. Nilai rentang tersebut sama dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa Suhu Permukaan Laut di Perairan tersebut berkisar 29.00 °C (PLTU Lontar, 2015) .

Berdasarkan analisis secara spasial menunjukkan bahwa terdapat gradiasi nilai suhu permukaan laut dari PLTU 3 Banten Lontar. Wilayah yang terdampak limbah panas terkonsentrasi pada area *outfall* PLTU dengan intensitas kenaikan suhu permukaan laut cenderung melemah dari *outfall* pembangkit listrik secara bertahap. Variabilitas spasial intensitas kenaikan suhu permukaan laut sangat erat kaitannya dengan daerah di dekat outlet limbah panas PLTU. Gambar 2 menunjukkan bahwa limbah air panas memiliki variasi suhu permukaan laut berkisar 29.01 hingga 33.00 dimana 0.01-4 °C lebih tinggi dari suhu perairan sekitarnya, dengan intensitas kenaikan suhu melemah dari *outfall* pembangkit listrik didominasi ke arah Timur Laut. Dispersi penyebaran limbah yang berasal dari outlet pembuangan limbah panas PLTU menggambarkan pola penyebaran tidak memasuki area pelabuhan dikarenakan adanya bangunan pantai berupa *Jetty* PLTU sepanjang 160 m.

Hasil perhitungan luasan area terdampak limbah panas PLTU menunjukkan bahwa dispersi penyebaran limbah pada tahun 2019 memiliki total rata-rata luas mencapai 367.58 ha dan berada dalam jarak 1.76 km dari *outfall* sedangkan pada tahun 2020 memiliki total rata-rata penyebaran seluas 81.9 ha dan berada dalam jarak 1.38 km dari *outfall* PLTU Banten 3, Lontar. Daerah dengan kenaikan suhu sebesar 0.01 °C -1 °C memiliki cakupan area yang relatif terbesar dengan rata-rata luasan mencapai 328.877 ha dan sebagian besar berada dalam jarak 1.85 km dari *outfall* (Gambar 2.a, c, f, g, i, j, k, l, m). Daerah dengan kenaikan suhu sebesar 1 °C dan 2 °C memiliki luasan rata-rata sebesar 62.54 ha dan berada dalam jarak 1.28 km dari *outfall*. Kenaikan suhu sebesar 3 °C dan 4 °C memiliki luas rata-rata mencapai 13.98 ha dan berada sejauh 0.94 km dari *outfall* (Gambar 2e).

Data lapangan yang diambil perekaman 31 Oktober 2020 pada saat perairan sedang pasang menunjukkan pola sebaran suhu permukaan laut membentuk gradasi warna merah yang memiliki nilai 34.01 °C - 36.00 °C yang ditunjukkan dalam (Gambar 2f). Nilai suhu permukaan tersebut bisa terjadi di lingkungan PLTU sebagaimana yang dijelaskan oleh Nontji (2002), yang menyatakan bahwa suhu permukaan laut di perairan Indonesia pada beberapa wilayah di sekitar pembuangan limbah industri maupun pembangkit listrik dapat mencapai 32 °C. Nilai yang tinggi pada hasil pengukuran lapangan dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama yaitu pada saat pengambilan data sedang berlangsung pengeluaran limbah air panas ke perairan sehingga nilai yang terukur merupakan suhu permukaan laut yang belum tercampur dengan baik dengan air dari lingkungannya. Meskipun demikian, pola sebaran suhu permukaan laut pada pengukuran lapangan memiliki pola yang sama dengan pola sebaran hasil pengolahan citra Landsat 8 yaitu intensitas kenaikan suhu permukaan laut menurun dari *outfall* dan menjauhi garis pantai.

Faktor Hidrooseanografi

Berdasarkan hasil pemodelan hidrodinamika menggunakan Mike21 (Gambar 4) arus pasang surut penyebaran limbah air panas di perairan PLTU Banten 3 Lontar dipengaruhi oleh pergerakan arus pasang surut. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada (Gambar 2.c, d, l, m) dan (Gambar 4.c, d, l, m) yang menggambarkan penyebaran limbah panas memiliki pola yang sama dengan distribusi pola arus pasang surut yang terjadi di perairan. Hal tersebut sama seperti pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penyebaran panas di wilayah perairan dipengaruhi oleh faktor angin, arus musiman, dan arus pasang surut (Ahn *et al.*, 2006; Wibowo dan Asvaliantina, 2018; Pintubatu *et al.*, 2020). Arus pasang surut memiliki peran penting dalam terjadinya proses fisik yang paling mendasar yaitu transpor panas akibat masuknya limbah air panas ke dalam perairan (Cahyana, 2015).

Verifikasi Data

Verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai suhu permukaan laut Citra Landsat 8 TIRS pada 15 Oktober 2020 dengan suhu permukaan laut lapangan pada 31 Oktober 2020 dengan pertimbangan kedua waktu tersebut berada pada waktu dan periode musim yang sama. Hasil verifikasi data menunjukkan bahwa hasil pengukuran dan pengolahan data Citra Landsat 8 TIRS menghasilkan nilai RMSE 5.89 (Tabel 2) sehingga dapat dikatakan bahwa hasil verifikasi data suhu citra Landsat dengan data suhu hasil pengukuran kurang bagus.

Terdapat beberapa faktor penyebab hal tersebut. Penyebab pertama adalah adanya tutupan awan pada citra 31 Oktober 2020 yaitu sebesar 86.28% yang berdampak terhadap akurasi perekaman suhu permukaan laut sehingga data tersebut tidak dapat dianalisa lebih lanjut. Hal tersebut seperti yang dijelaskan dalam (Fu *et al.*, 2019) bahwa tutupan awan memiliki efek redaman yang jelas pada informasi inframerah termal, yang akan mengurangi akurasi inversi suhu permukaan laut. Dengan demikian, verifikasi data dilakukan dengan asumsi bahwa data pengukuran lapangan pada 31 Oktober 2020 memiliki waktu dan kondisi hidrooseanografi yang sama dengan data Citra Landsat 8 pada 15 Oktober 2020.

Penyebab kedua adanya pengaruh perubahan lingkungan laut, seperti batimetri, massa daratan, dataran pasang surut, arus pasang surut, debit sungai, dan sebagainya, sebagaimana yang dijelaskan oleh Jang dan Park (2019). Penyebab ketiga adalah ketidaksesuaian waktu antara akuisisi data suhu permukaan laut Citra Landsat 8 TIRS dengan waktu pengukuran data suhu permukaan laut lapangan. Pengambilan data lapangan dilakukan pada 16 hari setelah hasil dari interpretasi data Citra Landsat 8 TIRS. Hal tersebut dikarenakan data Citra Landsat 8 TIRS pada saat data lapangan diambil memiliki tutupan awan yang cukup tinggi. Perbedaan waktu pengukuran suhu permukaan laut lapangan dengan

perekaman Citra Landsat 8 TIRS yang masing- masing diambil pada waktu 10.00-11.00 WIB dan 03.00 WIB mengakibatkan terjadinya perbedaan penyinaran sinar matahari ke badan perairan sehingga terjadi perbedaan penyinaran sinar matahari ke badan perairan sehingga terjadi perbedaan antara suhu permukaan laut yang diukur dengan suhu hasil perekaman citra.

KESIMPULAN

Sebaran suhu permukaan laut berdasarkan hasil pengolahan Citra Landsat 8 TIRS dan pengolahan data lapangan menggambarkan dominasi penyebaran ke arah Timur Laut dan mengalami penurunan nilai suhu dari daerah pantai menuju laut lepas. Wilayah yang diperkirakan terdampak dari limbah air panas memiliki rentang nilai suhu permukaan laut yaitu 29.01 °C-33.00 °C. Pola sebaran spasial suhu permukaan laut secara horizontal dipengaruhi oleh arus pasang surut yang bergerak dengan kecepatan 0.014 - 0.519 m/det.

Hasil perhitungan luasan area terdampak limbah panas PLTU menunjukkan bahwa dispersi penyebaran limbah pada tahun 2019 memiliki total rata-rata luas mencapai 362.58 ha dan berada dalam jarak 1.26 km dari *outfall* sedangkan pada tahun 2020 memiliki total rata-rata penyebaran seluas 81.9 dan berada dalam jarak 1.38 km dari *outfall* PLTU Banten 3, Lontar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, Y. H., P. Shanmugam, J. H. Lee, dan Y. Q. Kang. 2006. Application of Satellite Infrared Data for Mapping of Thermal Plume Contamination in Coastal Ecosystem of Korea. *Mar. Environ. Res.*, 61(2):186–201
- Akhbar, A. I., Y. V. Jaya, dan T. Febrianto. 2018. Kajian Suhu Permukaan Laut Berdasarkan Data Citra Satelit NOAA-AVHRR dan Data Argo Float Di Perairan Selatan Jawa, *Dinamika Maritim*. 2(1):22–32.
- Cahyana, C. 2011. Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik ke Badan Air Laut. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN dan FT-Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*. 5: 293-302.
- Cherif, E. K., F. Salmoun, and F. J. Mesas-Carrascosa. 2019. Determination of Bathing Water Quality Using Thermal Images Landsat 8 on the West Coast of Tangier: Preliminary Results. *Remote Sens.*, 11(8).
- Fu, J., C. Chen, H. Ren, Y. Zhang, dan Y. Chu. 2019. Sea Surface Temperature Retrieval from Landsat8 Thermal Infrared Remote Sensing Data in Coastal Waters. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 310(3).
- Fudlailah, P. dan M. Zikra. 2013. Pemodelan Penyebaran Limbah Panas Di Wilayah Pesisir (Studi Kasus *Outfall* PLTU Paiton). *J. Tek. Kelaut.*:1–8.
- Ismayati, Q., M. Helmi, B. Rochaddi. 2013. Kajian Spasial Suhu Permukaan Laut Akibat Air Bahang Pltu Paiton Menggunakan Saluran Termal Satelit Landsat 2/Etm+ Di Pantai Bhinor Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. *J. Oceanogr.*, 2(1):49–56.
- Jang, J. C. dan K. A. Park. 2019. High-Resolution Sea Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 OLI/TIRS Data at Coastal Regions. *Remote Sens.*, 11(22).
- Kusuma, D. W., A. Murdimanto, L. Y. Aden, B. Sukresno, D. Jatisworo, dan R. Hanintyo. 2012. Sea Surface Temperature Dynamics in Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 98(1).
- McPhaden, M. J. dan S. P. Hayes. 1991. On the Variability of Winds, Sea Surface Temperature, dan Surface Layer Heat Content in the Western Equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 96(S01):3331.
- Mukhlisin, A. and S. Soemarno. 2020. Estimasi Kandungan Klorofil Tanaman Kopi Robusta (*Coffea Canephora* Var. *Robusta*) Menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Di Bangelan, Wonosari, Malang. *J. Tanah dan Sumberd. Lahan*, 2(2):329–339.
- Mutaqin, B. dan B. Angga. 2013. Analisa Spasial Sebaran Suhu Permukaan Laut Di Perairan Jepara Menggunakan Citra Landsat 8. In: *Pros. Simp. Nas. Sains Geoinformasi*.
- Neill, S. P. dan M. R. Hashemi. 2018. *Ocean Modelling for Resource Characterization*, 193– 235 p.
- Nontji, A. 2002. *Laut Nusantara*. Cetakan kelima. Penerbit Djambatan: 322 pp.
- Pintubatu, K. L., S. Widada, J. Marwoto, dan A. Satriadi. 2020. Studi Pola Sebaran Suhu Permukaan Laut Akibat Air Bahang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Probolinggo Jawa Timur. *Indones. J. Oceanogr.*, 02:0–8.

- PLTU Lontar. 2015. Adendum Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ADENDUM ANDAL).
- Rosen, M. A., C. A. Bulucea, N. E. Mastorakis, C. A. Bulucea, A. C. Jeles, dan C. C. Brindusa. 2015. Evaluating the Thermal Pollution Caused by Wastewaters Discharged from a Chain of Coal-Fired Power Plants along a River. *Sustain.*, 2(5):5920–5943.
- Sari, Y. N., A. Wirasatriya, B. Rochaddi, dan G. Hdanoyo. 2020. Variabilitas Arus Permukaan Di Perairan Samudra Hindia Selatan Jawa. Indones. *J. Oceanogr.*, 02(01).
- Setiawan, A. N., Y. Dhahiyat, dan N. P. Purba. 2013. Variasi Sebaran Suhu Dan Klorofil-a Akibat Pengaruh Arlindo Terhadap Distribusi Ikan Cakalang Di Selat Lombok. *Depik J.*, 2(2):58–69.
- Surinati, D. dan M. R. Marfatah. 2019. Pengaruh Faktor Hidrodinamika Terhadap Sebaran Limbah Air Panas Di Laut. *Oseana*, 44(1):26–32.
- Tampubolon, A. B., O. Gustin, dan S. N. Chayati. 2012. Pemetaan Suhu Permukaan Laut Menggunakan Menggunakan Citra Satelit Aqua Modis Di Perairan Provinsi Kepulauan Riau. *Tek. Inf.(May)*.
- Trisakti, B., S. Sulma, dan S. Budhiman. 2004. Study of Sea Surface Temperature (SST) Using Landsat-2 ETM (In Comparison with Sea Surface Temperature of NOAA-12 AVHRR). Thirteen. *Work. Omi.(May 2016)*:18–1 to 18–5.
- Wibowo, M. dan V. Asvaliantina. 2018. Kajian Dispersi Panas Akibat Air Limbah Rencana Pembangunan PLTU Kuala Tungkal - Provinsi Jambi. *J. Teknol. Lingkung.*, 19(1):1.
- Yani, A dan Ruhimat, M. 2002. *Geologi*. Bandung : Galindo Media Pratama.